第 38 卷第 3 期 生 态 学 报 Vol.38,No.3
2018 年 2 月 ACTA ECOLOGICA SINICA Feb.,2018

DOI:10.5846/stxb201610132467
赵海霞,蒋晓威,刘燕.基于水生态健康维护的空间开发管制分区研究——以巢湖环湖地区为例.生态学报,2018,38(3):866-875.
Zhao H X, Jiang X W, Liu Y.Spatial management zoning based on the water eco-health: A case study of the areas around Chaohu Lake.Acta Ecologica Sinica,2018,38(3):866-875.

基于水生态健康维护的空间开发管制分区研究
——以巢湖环湖地区为例

赵海霞[1,*],蒋晓威[2],刘 燕[1,3]
1 中国科学院南京地理与湖泊研究所湖泊与环境国家重点实验室, 南京 210008
2 江苏省环境科学研究院,南京 210036
3 中国科学院大学,北京 100049

摘要:水生态健康已成为区域环境管理的新目标及国内外生态环境领域研究的热点。在快速工业化和城市化推动下,巢湖环湖地区出现了水质恶化、植被消亡与生态系统功能退化等水生态健康问题,旨在通过环湖地区的空间开发管制分区,处理好开发与保护的关系,实现环湖地区水生态系统持续、健康发展。应用 ArcGIS 空间分析平台,构建由水生态敏感性和水生态压力组成的分区评价指标体系,以 500 m×500 m 网格为评价单元,通过单要素与多要素的综合评价,借助二维关联矩阵分析,进行空间开发管制分区,据此提出差别化的区域开发与生态环境保护导向。结果表明:巢湖环湖地区从空间单元上可确定为低敏低压区、低敏高压区、高敏低压区、高敏高压区 4 种类型区;水生态敏感性较高的环湖主要入湖河流两侧,以加强生态修复和环境保护为主;滨湖新区北部、巢湖市区及各镇镇中心水生态压力较大,迫切需要转型升级,实施严格的环境准入条件和污染排放标准;虽然环湖乡镇大部分地区水生态敏感性和水生态压力相对较低,可依托本地优势资源,因地制宜、错位发展,但严格控制新增污染物排放、维护水生态健康发展是首要任务。

关键词:水生态健康;水生态敏感性;水生态压力;管制分区;巢湖环湖地区

Spatial management zoning based on the water eco-health: A case study of the areas around Chaohu Lake

ZHAO Haixia[1,*], JIANG Xiaowei[2], LIU Yan[1,3]
1 *State Key Laboratory of Lake Science and Environment, Nanjing Institute of Geography and Limnology, Chinese Academy of Sciences, Nanjing* 210008, *China*
2 *Jiangsu Provincial Academy of Environmental Science, Nanjing* 210036, *China*
3 *University of Chinese Academy of Sciences, Beijng* 100049, *China*

Abstract: The water eco-health has become an important goal of regional environment management and a new trend of eco-environmental fields in China and abroad. In the areas around Chaohu Lake of China, the rapid industrialization and urbanization have led to ecological health problems, such as water quality deterioration, vegetation degradation and ecosystem degeneration. This paper aims to give some advices on achieving the healthy development of water ecosystem based on spatial development and regulation zoning in the areas around Chaohu Lake. After building the evaluation index system composed of water ecological sensitivity and water ecological pressure, this paper discusses the methods of spatial zoning which is related to both regional development and ecological environment protection, based on 500 m×500 m grid units and ArcGIS software, as well as the comprehensive evaluation of single factor and multifactor analysis. The areas

基金项目:国家水体污染控制与治理科技重大专项(2012ZX07501002-008);国家自然科学基金(71573250)
收稿日期:2016-10-13; **修订日期:**2017-11-21

*通讯作者 Corresponding author.E-mail: hxzhao@niglas.ac.cn

around Chaohu Lake, serving as a case study, are divided into four types by the method of two-dimensional quadrant analysis, namely, high-sensitivity and high-pressure area, high-sensitivity and low-pressure area, low-sensitivity and high-pressure area, and low-sensitivity and low-pressure area, representing 2.66%, 20.46%, 13.01 and 63.87% of the total area respectively. Different measures are put forward according to different types of areas. Firstly, the areas around Chaohu Lake generally should adopt a policy on low density development prioritizing the ecological and cultural protection. As an important drinking water source and ecological barrier areas in Chaohu and Hefei city, the areas around Chaohu Lake is expected to give a strict protection of the natural reserve, existing mountain, water and wetland landscape, forest parks, scenic areas, lake shelterbelts and so on. Secondly, learning from previous lessons on the development models of lakeside districts in other regions and countries, the development model in the areas around Chaohu Lake should adopt appropriate measures suiting local conditions: the belts along the main rivers into Chaohu Lake have the higher sensitivity to water environment, are not suitable for large-scale development and construction, and need to strengthen the ecological restoration and environmental protection. Thirdly, the northern Binhu new district of Hefei city, Chaohu city and their towns have higher pressures on water ecosystem from high-density development activities, is in urgent needs of the model transformation and structure upgrade in industrial and urban development, and implements strict access standards to environmental and pollution emissions. Lastly, although some regions with lower ecological sensitivity and pressure can adopt different measures and development models relying on local resources and their own advantages, a strict control of new emissions of pollutants and maintenance of healthy development of ecological water are of prime importance.

Key Words: water eco-health; water ecological sensitiveness; water ecological pressure; spatial management zoning; the areas around Chaohu Lake

随着人类对湖泊水资源及其滨水地区开发、利用的不断提高,水生态系统出现了断流、枯竭、生物多样性丧失以及水环境污染等问题,严重破坏了水体应有的服务功能和生态系统健康[1-2]。水生态健康作为区域环境管理与可持续发展的新目标,其相关研究已成为国内外生态环境领域关注的热点和趋势之一[3-5],其中关于水生态功能分区的研究较为成熟,且分区成果被政府部门应用于日常的水资源管理,对水生态系统健康维护起到了较为显著的作用[6-8]。如美国环保局于 1987 年构建以水生态环境区划为基础的水环境管理方法与技术体系[9],澳大利亚 1997 年则利用生态管制分区指导生态调查与评价地表水的流动[10]。国内关于水生态功能分区研究始于 20 世纪 50 年代,王俭等[11]、高永年等[12]、高俊刚等[13]、周家艳等[14]在 GIS 技术支持下,分别对辽河流域、太湖流域、金沙江下游地区和巢湖流域等区域,通过构建自然地理、水生态环境、社会经济等指标体系,划分水生态控制单元;孙伟[15]、赵海霞等[16]选取水体使用功能、水质目标、清水通道、水体通达性、现状水质目标等因子,进行基于水体约束性的空间开发功能分区。已有研究多以自身水体环境使用功能作为指标因子进行分区[17-18],忽视了水环境结构功能的限制作用。为此,陈雯等[19]、孙伟等[20]则从水环境敏感性与水环境压力的协同约束角度探究了区域土地利用开发与产业布局的引导性分区,为后续研究提供了较好的借鉴,但较少考虑水陆间要素的空间关联性。在合理判断水生态系统自身敏感性与社会经济发展对水生态压力的基础上,划分空间开发管制区,是实现区域生态与经济协同发展,维护水生态系统健康发展的有效手段。

近年来,在快速工业化和城市化的推动下,巢湖环湖地区出现了建设用地盲目扩张,水质严重恶化、植被消亡和生态系统退化等人地矛盾问题,环湖岸线和水向湖滨带丧失了削减面源污染、阻滞沉积物再悬浮等重要生态功能[21],水生态系统健康受到威胁,严重制约区域社会经济的可持续发展[22]。随着合肥经济圈以及皖江城市带的建设,城镇和工业发展有向环湖地区拓展的趋势,维护巢湖环湖地区的水生态健康压力趋大,合理划分巢湖环湖带的空间功能开发格局,是迫切解决经济发展与生态环境保护矛盾的有力保障。借鉴地理学空间分区研究方法,以巢湖环湖地区作为研究对象,构建基于水生态健康维护的空间开发管制分区指标体系,对环湖地区的水生态敏感性和水生态压力进行评估,并提出空间管制措施,试图解决区域水生态健康维护与

空间开发的合理调配,促进环湖区域合理有序的开发。

1 研究区概况

巢湖位于安徽省中部、合肥市境内,是中国第五大淡水湖,东西长 54.5 km,南北宽 21 km,水域面积 769.5 km^2,来水面积有 9130 km^2,有杭埠河、丰乐河、上派河、南淝河、白石天河、兆河、柘皋河等注入,经巢湖调节容蓄后,出巢湖闸经裕溪河于裕溪闸下注入长江,沿岸为合肥市所包围。本研究范围为巢湖环湖地区,是指巢湖周围、在地域上相邻的所有乡镇(街道),包括滨湖新区、巢湖市区、三河镇、长临河镇、严店镇、盛桥镇、白山镇、同大镇、中庙街道、黄麓镇、烔炀镇、中垾镇、夏阁镇、银屏镇、散兵镇、槐林镇、坝镇镇,总面积约 1775 km^2(不包含巢湖水域面积,图 1)。



图 1 研究区

Fig.1 The study area

2 研究方法与数据来源

2.1 研究方法与过程

2.1.1 数据库及评价单元

通过实地调查,收集了研究区地形、地质、水环境质量、环湖乡镇经济、人口等数据和地图等相关资料,利用 ArcGIS 软件的地图配准、数字化、误差修正,建立水生态敏感、水生态压力要素的空间属性数据库。为了更为精确地表达空间差异性,采用 ArcGIS 软件中的格网分析工具,以 500 m×500 m 的格网为基本评价单元,进行单要素和多要素的综合评价,通过有效评价单元的归并分析,确定空间开发管制分区方案(图 2)。其中,社会经济等人文要素的评价以乡(镇)行政单元为基础向网格单元进行切分,自然要素的评价则以自然边界为基础,通过多边形评价单元向网格单元进行转化,采用空间叠置分析法进行评价单元统一,转换公式如下:

$$D_i = \sum_{j=1}^{n} (N_j \times A_{ij}) / A_i \tag{1}$$

式中,D_i指格网评价单元 i 的自然要素评价指数,A_{ij}为格网评价单元 i 内第 j 级自然要素的面积,A_i为格网单元

i 的总面积,N_j 为第 j 级自然要素的权重。

2.1.2　评价指标与权重

为尽可能全面综合反映环湖地区自然生态条件、水体环境及经济社会等特征,分区评价主要选取水生态敏感性和水生态压力两大类指标。其中,水生态敏感性反映水生态系统自身的完整性与安全程度,敏感性越高,对空间开发的约束性就越强。水生态压力则主要来自人类活动对水生态系统的胁迫作用,主要表现在土地利用方式、人口密度、经济压力、污染强度等方面,压力越大,对水生态健康的威胁就越大。

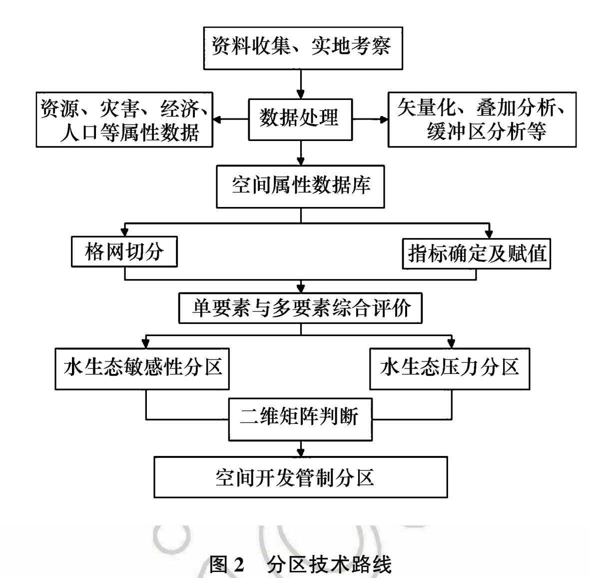


图 2　分区技术路线

Fig.2　Research ideas of division

评价指标因子的选取需要考虑其稳定性、尺度性和可获取性,并尽量避免指标的重叠,能够充分反映评价地域空间开发适宜程度的差异性,以相对长期稳定的生态系统结构、功能空间异质性环境驱动因子作为各级分区依据[23-24]。水生态敏感性分区主要从生态重要性、自然灾害易发性、水体污染风险性 3 个方面,选用自然保护区、饮用水源保护区、重要湿地、地质灾害、水质目标等指标进行综合评价;水生态压力分区主要考虑经济社会发展对水生态健康的胁迫程度,从开发强度、人口密度、经济压力、污染排放强度等方面,选取建设用地占比、人口密度、人均地区生产总值、地均工业废水排放量、人均 COD 排放量等指标进行综合评价。

指标权重的确定主要考虑差异性和重要性,为了使结果更为准确和科学,采用层次分析法(AHP)确定权重。首先,通过对每一层中两两指标的相对重要性进行判断,引入合适的标度,用数值加以量化,进而构成各层次的判断矩阵。其次,根据环巢湖地区水生态特征,以层次分析法得出各要素因子的重要性程度作为初始权重,向专家发放一定数量问卷进行重要性打分,获得专家打分样本后,进行打分有效性和收敛分析。针对不收敛结果,则将权重分析结果反馈给专家重新打分,直至出现较高的满意度。在此基础上,采用熵值法确定各指标的最终权重(表 1)。

表 1　分区指标体系及其权重

Table 1　Index system and weight of zoning

目标层 Target layer	准则层 Guidelines layer	要素层 Factor layer	权重 Weights	因子层 Index layer
水生态健康管制分区 Water eco-health spatial management zoning	水生态敏感性	生态重要性	0.348	自然保护区面积比重
				重要湿地面积比重
				饮用水源保护区面积比重
				山体(高程>50 m)面积比重
		自然灾害易发性	0.256	塌陷、崩塌、滑坡、泥石流等灾害赋值为 2
				洪涝和膨胀土等灾害赋值为 1
		水体污染风险性	0.396	水质目标(Ⅲ类及以下为 3,Ⅳ-Ⅴ类为 2,劣Ⅴ类为 1)
				入湖河流缓冲带(两侧 200 m)
	水生态压力	开发强度	0.236	建设用地面积占国土总面积的比重
		人口密度	0.254	单位建设用地面积的常住人口数
		经济压力	0.214	人均地区生产总值
		污染排放强度	0.296	地均工业废水排放量
				人均 COD 排放量

2.1.3　空间管制分区评价

将各网格单元的要素分值进行标准化与加权求和,采用逐级分层的聚类归并和趋同性分析,将水生态敏感性指数、水生态压力指数分别划分为高、较高、中、较低、低 5 种类型。在此基础上,根据各评价单元水生态敏感性、水生态压力指数的分级与排序,以水生态敏感性指数从低到高为行,水生态压力指数从低到高为列,制作二维关联矩阵分析表(表 2),将研究区划分为低敏低压、低敏高压、高敏低压、高敏高压 4 种类型区。需要特别说明的是,为了更好地进行水生态系统健康的维护,采取社会经济活动的空间开发管制,分区结果的确定主要依据“短板效应”原理,将中及较高、高分级的水生态压力(水生态敏感度)确定为高压区(高敏区)。

其中,标准化公式如下:

$$X_{ij} = \frac{x_{ij} - x_{i\min}}{x_{i\max} - x_{i\min}} \tag{2}$$

式中:X_{ij}是 i 项指标 j 单元标准化后的数值;$X_{i\max}$是 i 项指标中最大值;$X_{i\min}$是 i 项指标中的最小值;X_{ij}是 i 项指标 j 单元的初始值。

加权求和公式如下:

$$A_i = \sum_{j=1}^{n} X_{ij} \times P_j \tag{3}$$

式中,A_i是第 i 项指标的水生态敏感性指数或水生态压力指数,X_{ij}是第 i 项指标 j 单元要素的标准化值,P 是权重。

表 2　分区结果

Table 2　Division results

	水生态敏感指数较低、低 Water ecological sensitiveness low or lowest	水生态敏感指数中等 Water ecological sensitiveness general	水生态敏感指数较高、高 Water ecological sensitiveness highest or higher
水生态压力指数较低、低 Water ecological pressure low or lowest	低敏低压区	高敏低压区	高敏低压区
水生态压力指数中等 Water ecological pressure general	低敏高压区	高敏高压区	高敏高压区
水生态压力指数较高、高 Water ecological pressure highest or higher	低敏高压区	高敏高压区	高敏高压区

2.2　数据来源与处理

所采用的数据包括空间矢量数据、社会经济统计数据及环境资料。其中,空间矢量数据主要来自 2015 年合肥市 1:25 万地形图及 1:5 万的 DEM 数据、10 m 分辨率的遥感影像等数字地图,巢湖流域水污染防治规划、合肥市城市总体规划、风景名胜区规划及环巢湖乡镇(街道)总体规划、安徽省重要生态功能区划及安徽省地质灾害防治规划等相关资料。经济发展、人口等数据主要来自 2015 年各乡镇镇卡。另外,污染排放数据主要根据各乡镇人口、工业总产值占比进行估算,水环境质量数据来自 2015 年合肥市环境质量报告书。

3　研究结果

3.1　水生态敏感性评价

生态重要性。反映区域生态系统结构和功能稳定性的重要指标。生态重要性越高的地区,生态系统保护的价值和要求就越高,对空间开发的约束越强。根据环湖地区的自然地理特征和生态环境状况,选取自然保护区、大于 50 m 山体、重要湿地及饮用水源保护区等作为表征指标,利用 2015 年 10 m 分辨率的遥感影像,通过监督分类方式提取环湖地区自然湿地,基于 1:5 万的 DEM 数据,运用 ArcGIS 软件中的 Spatial analyst 模块提取大于 50 m 的山体,并转换为矢量格式。配准安徽省重要生态功能区保护规划图件,数字化环湖地区的自然保护区和饮用水源保护区,并统一坐标系。通过综合评价,环湖西南部的同大镇、白山镇,西北部的义城镇

以及巢湖市东南部的山地丘陵区生态重要性较高,其他地区相对较低(图 3)。

自然灾害易发性。根据环湖地区自然灾害发生的实际情况,选择洪涝灾害及崩塌、塌陷、滑坡、泥石流、崩岸等地质灾害指标作为自然灾害易发性评价因子,根据各类灾害的危害程度赋值,综合评价各单元的灾害易发性。其中,危害较高的崩塌、滑坡、泥石流赋为一级,危害较低的洪涝和膨胀土等赋为二级。总体上,除西南部的同大镇、白山镇相对较低外,环湖其他乡镇自然灾害易发性均较高(图 3)。

水体污染风险性。反应河流水体受外界污染的风险程度,受制于水体自身水环境容量及纳污能力的大小。入湖污染物的增加是巢湖水质恶化的主导因素,威胁水生态健康,控制环巢湖地区主要入湖河流的水质是防治巢湖水污染的有效措施。根据环湖地区地表水体水质目标,将其风险等级划分为 3 类,其中劣Ⅴ类水质最差,程度最低,赋值为 1;Ⅳ-Ⅴ类河流水体污染风险程度适中,赋值为 2;Ⅲ类及以下河流风险性最高,赋值为 3,其中水质目标以河段为控制单元进行划分。以 1:5 万地形图为基础,利用 ArcGIS 软件的 Analyst tools 模块中的 buffer 功能,将环湖地区主要入湖河流两侧 200 m 范围划分为水生态安全管控区,其中水体自身及其 50 m 以内作为水生态安全管控一级区,风险性高,赋值为 2;50 m 到 200 m 以内为水生态安全二级管控区,风险性相对较低,赋值为 1。通过综合分析(水体污染风险性=水质目标安全等级×控制单元面积+管控区风险性×管控区面积),主要入湖河流两侧是水体污染风险性较高的地区(图 3)。

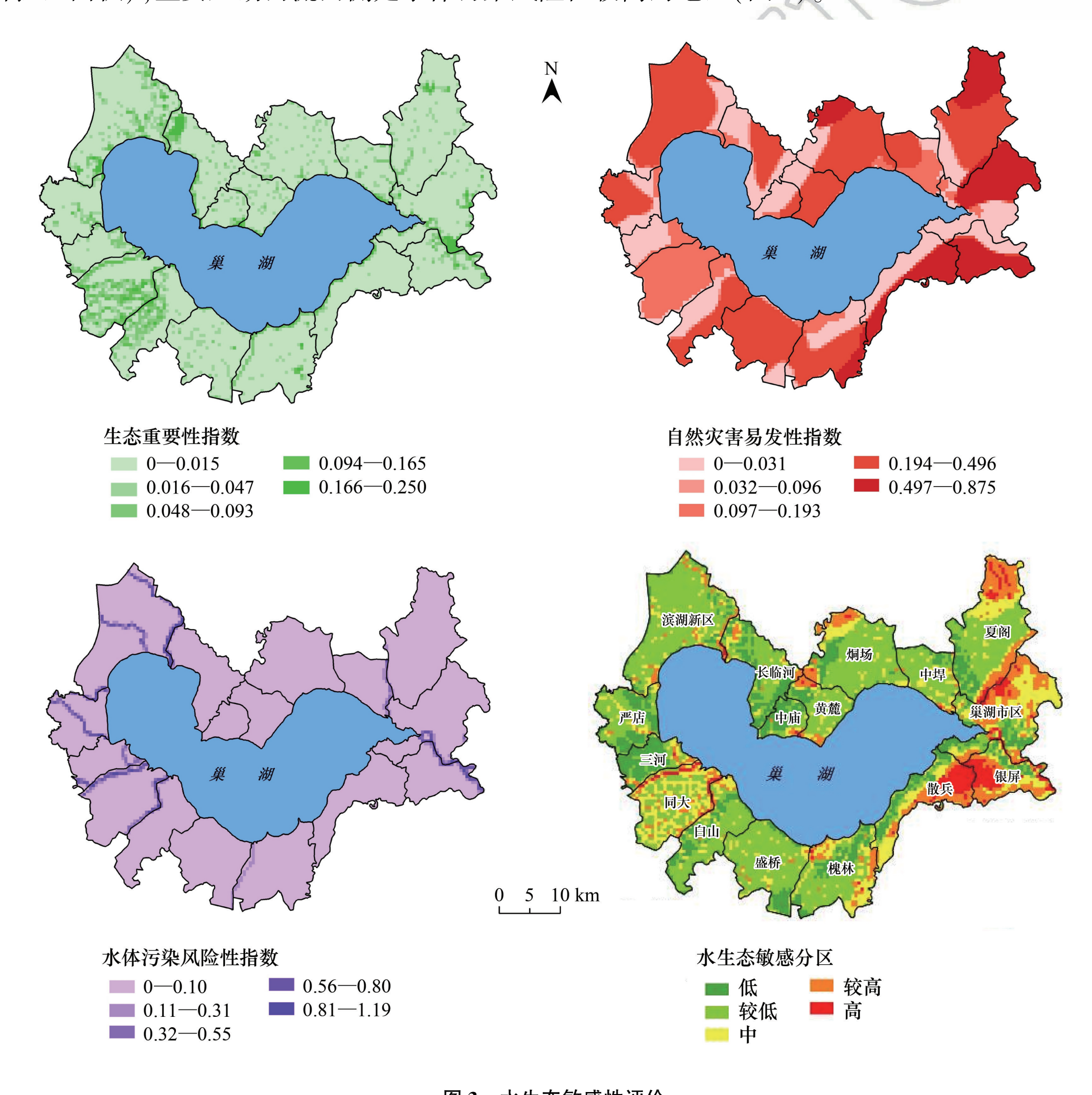


图 3　水生态敏感性评价

Fig.3　Evaluation of water ecological sensitivity

通过指标综合评价,确定网格评价单元的水生态敏感性,然后采用聚类分析方法将网格单元划分为高、较高、中等、较低和低 5 个等级(图 3)。总体上,水生态敏感性较高的地区主要位于银屏镇、散兵镇、夏阁镇和巢湖市区北部的山地丘陵区域。此外,南淝河、杭埠河、白石山河、裕溪河等主要河流两侧区域水生态敏感性也较高。

3.2 水生态压力评价

开发强度。反应建设空间的拓展程度,采用建设用地面积占国土总面积的比例表征。由于建设用地的扩张改变土地利用模式,不透水层面积的增加降低了水环境容量和对污染物的稀释、吸纳能力,因此单位格网内建设用地比例越高,对水生态的压力就越大。总体上,滨江新区和巢湖市区的建设用地比例较高,其他地区较低(图 4)。

人口密度。指单位面积的常住人口数,采用单位建设用地面积的常住人口数表征。人口密度越大的地区,水资源量消耗越大,污水排放也越多,对水环境承载压力相对要大。总体上,巢湖市主城区的人口密度最高,滨江新区人口密度相对较高,其余地区则较低(图 4)。

经济压力。反映地区的总体经济发展水平,采用人均地区生产总值表征,其值越高,表明该地区的经济越发达,水生态承受的压力也越大。总体上看,环湖地区经济发展水平差异明显,其中滨湖新区最高,其次为巢湖市区,其余乡镇则相对较低(图 4)。

污染排放强度。工业废水排放量能够较为准确的反映各个地区的水污染程度,COD 则是国家明确的主要水体污染物,是人类活动对水质环境影响的最直接表征。通过对地均工业废水排放量、人均 COD 排放量两个指标的综合分析能够较好的反映地区间的污染排放强度。总体上看,滨江新区与巢湖市区污染排放强度最高,其次为槐林镇、黄麓镇,其余乡镇则相对较低(图 4)。

通过指标综合评价,确定网格评价单元的水生态压力,然后采用聚类分析方法将网格单元划分为高、较高、中等、较低和低 5 个等级(图 4)。总体上,滨湖新区北部、巢湖市区水生态压力最高。此外,环湖各个乡镇的镇中心水生态压力也相对较高,其余地区则较低。

3.3 空间开发管制分区

以格网为评价单元,根据水生态敏感性、水生态压力指数的二维矩阵解析,将研究区划分为高敏高压、高敏低压、低敏高压和低敏低压 4 种类型区(图 5)。

高敏高压区。指水生态敏感性和水生态压力都较高的区域,主要分布在巢湖市主城区,区域总面积 47.27 km^2,占环湖总面积的 2.66%。本区水生态敏感性较高,且经济社会发展与污染强度相对较高,导致水生态压力也很高,局部地区水环境容量甚至已经超载。由于受巢湖生态保护与饮用水源的严格约束,不宜发展对水体污染影响较大的化学制品、纺织印染、造纸等相关产业。未来的发展重点应着眼于现代服务业、物流业和高新技术产业,加快产业转型升级,实施严格的环境准入条件和污染排放标准。

高敏低压区。指水生态敏感性较高而水生态压力较低的区域,主要分布在银屏镇、散兵镇、夏阁镇和巢湖市区北部的山地丘陵区域,以及南淝河、杭埠河、白石山河、裕溪河等主要河流两侧区域,总面积 363.26 km^2,占环湖总面积的 20.46%。该地区经济社会发展相对滞后,对水生态环境的胁迫作用并不显著,但水生态的敏感性则相对较高,主要包含自然保护区、森林公园、水源涵养区、清水通道、重要湿地等,不适宜开展大规模的开发建设,可因地制宜发展低污染、高效益的特色产业,并要加强生态修复和环境保护;中庙、黄麓等地区则依托滨湖自然风光资源,积极发展旅游综合服务。

低敏高压区。指水生态敏感性较低而水生态压力较高的区域,主要分布在滨江新区的大部分区域和巢湖市区南部地区,总面积 231.10 km^2,占环湖总面积的 13.01%。该区域应加快污水处理设施及配套管网建设,在保证相应水质目标下,设置合适环境准入门槛,增强污水处理能力。滨湖新区则依托较好的产业基础,加快电子信息、生物、新能源和新材料等新型工业,促进产业聚集、用地集约。企业内部应加快推行清洁生产,政府应加强对建设项目的环保执法检查等措施,从源头上控制新增污染物排放。

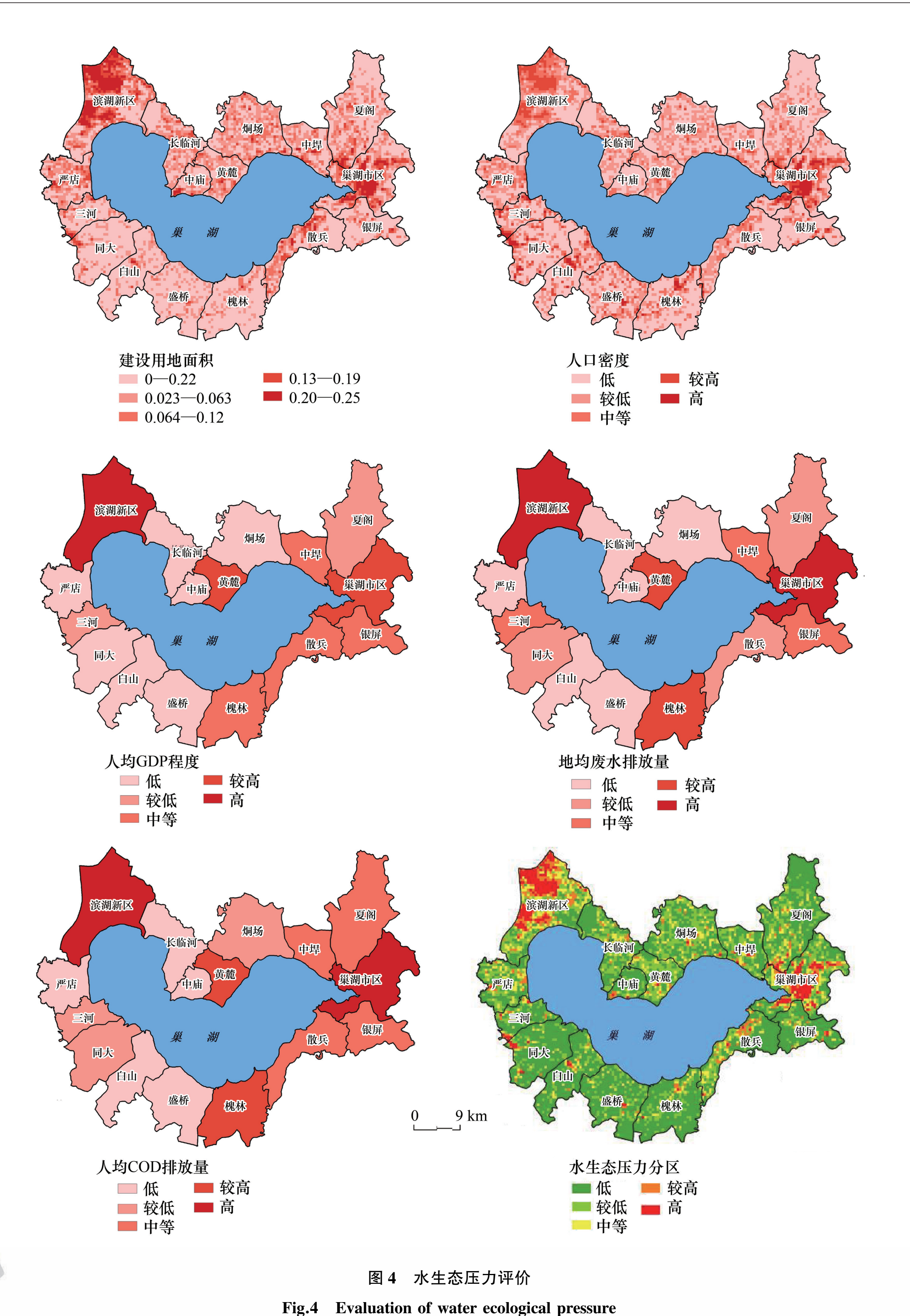


图 4　水生态压力评价

Fig.4　Evaluation of water ecological pressure

低敏低压区。指水生态敏感性和水生态压力均较低的区域。该类区域主要位于环巢湖各个乡镇的大部分地区,区域总面积 1134.19 km^2,占环湖总面积的 63.87%。本区域经济社会发展水平仍有很大提升空间,且环境容量潜力大,水体纳污能力强,是未来空间开发的主要区域。巢湖作为合肥市、巢湖市生活饮用水的重要水源地,环湖地区又是两市重要生态屏障区,总体上应以生态和文化优先,适度进行低密度开发。环湖各乡镇

应因地制宜、错位发展,主要依托本地资源和生态优势,加快专业园区和产业基地建设,同时严格控制对巢湖水生态系统的影响,促进环湖地区的协调可持续发展。

4 结论与讨论

利用 GIS 空间分析技术,以格网为评价单元,进行水生态敏感性和水生态压力协同约束下的巢湖环湖带空间开发管制分区研究,并借鉴国内外关于滨湖区开发采取临湖纯生态保护型、低密度的休闲开发型、临湖城市开发型等模式,确定巢湖环湖带因地制宜的开发模式,对环湖带协调空间开发与水生态健康维护具有一定的指导与借鉴。

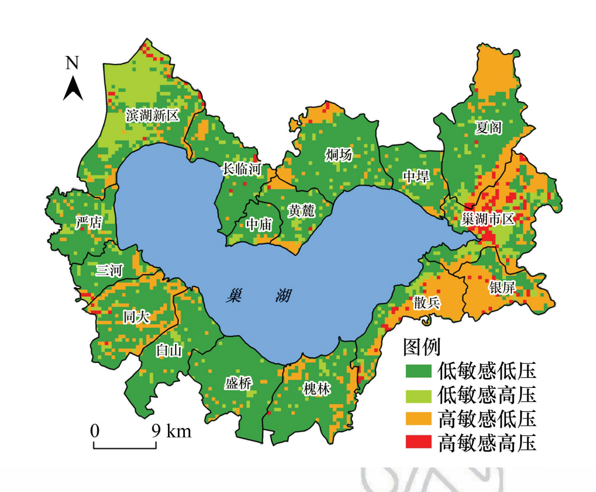


图 5 空间开发管制分区

Fig.5 Regional zoning of spatial development

总体上,以巢湖市为中心的周边区域及环湖主要入湖河流两侧水生态敏感性较高,不适宜大规模的开发建设,可因地制宜发展低污染、高效益的特色产业,同时要加强生态修复和环境保护,以维护重要生态功能为核心,保护现有的自然保护区、山体、水源地以及湿地景观、森林公园、风景名胜区、沿湖防护林带等;滨湖新区北部、巢湖市区及各乡镇镇中心等经济发达的地区水生态压力已相对较大,迫切需要转型升级,实施严格的环境准入条件和污染排放标准,限制污染产业的发展,同时推行清洁生产,强化污水处理设施建设。对于生态敏感性不高、经济开发需求旺盛,特别是开发建设已形成规模的地区,结合发展基础和水生态环境约束条件,适度控制人口密度和开发强度,发展成为临湖城市区域和生态工业区。

本研究可为巢湖环湖地区的空间开发与生态环境保护协调发展提供理论依据,也是环湖区域空间管制分区的有益探索,但从分区方法上看,影响分区结果科学性和可靠性的关键在于要素选择,由于受资料可获的限制,现有指标体系还有待进一步完善,特别是在水生态压力评价中应增加生物多样性等表征生态系统功能的指标,使指标体系更全面。另外,本文将环湖带看作是一个封闭的流域系统,实际上水生态环境还受到巢湖流域上游地区及合肥市产业布局和污染排放的影响,如何从更大尺度构建水生态空间管制分析方法仍需进一步完善。

参考文献(References):

[1] 殷旭旺, 渠晓东, 李庆南, 刘颖, 张远, 孟伟. 基于着生藻类的太子河流域水生态系统健康评价. 生态学报, 2012, 32(6): 1677-1691.

[2] 鲍超, 贺东梅. 京津冀城市群水资源开发利用的时空特征与政策启示. 地理科学进展, 2017, 36(1): 58-67.

[3] 黄艺, 蔡佳亮, 郑维爽, 周丰, 郭怀成. 流域水生态功能分区以及区划方法的研究进展. 生态学杂志, 2009, 28(3): 542-548.

[4] Snelder T H, Biggsbarry J F. Multiscale river environment classification for water resources management. Journal of the American Water Resources Association, 2002, 38: 1226-1239.

[5] Rapport D J, Costanza R, McMichael A J. Assessing ecosystem health. Trends in Ecology and Evolution, 1998, 13(10): 397-402.

[6] 孟伟, 张远, 郑丙辉. 水生态区划方法及其在中国的应用前景. 水科学进展, 2007, 18(2): 293-300.

[7] 孙小银, 周启星, 于宏兵, 孟伟. 中美生态分区及其分级体系比较研究. 生态学报, 2010, 30(11): 3010-3017.

[8] 刘星才, 徐宗学, 徐琛. 水生态一、二级分区技术框架. 生态学报, 2010, 30(17): 4804-4814.

[9] Omernik J M. Ecoregions of the conterminious united states. Annals of the Association of American Geographers, 1987, 77: 118-125.

[10] Austrian Standards Institute. Guidelines for the ecological survey and evaluation of flowing surface waters. Vienna: Austrian Standards Norm M 6232, 1997: 38.

[11] 王俭, 韩婧男, 王蕾, 李法云, 胡成, 唐大元. 基于水生态功能分区的辽河流域控制单元划分. 气象与环境学报, 2013, 29(3): 107-111.

[12] 高永年, 高俊峰. 太湖流域水生态功能分区. 地理研究, 2010, 29(1): 111-117.

[13] 高俊刚, 吴雪, 张镱锂, 刘林山, 王兆锋, 姚治君. 基于等级层次分析法的金沙江下游地区生态功能分区. 生态学报, 2016, 36(1):

134-147.
[14] 周家艳, 李冰, 王水, 刘伟, 田爱军, 高鸣. 淮河下游小流域空间开发功能分区研究——以江苏沿海地区为例. 环境科学与技术, 2012, 35(5): 198-201.
[15] 孙伟. 经济发达地区水环境约束分区与产业准入研究——以无锡市区为例. 长江流域资源与环境, 2011, 20(7): 879-885.
[16] 赵海霞, 王梅, 段学军. 水环境容量约束下的太湖流域产业集聚空间优化. 中国环境科学, 2012, 32(8): 1530-1536.
[17] 高喆, 曹晓峰, 黄艺, 李发荣. 滇池流域水生态功能一二级分区研究. 湖泊科学, 2015, 27(1): 175-182.
[18] 郭宏飞, 倪晋仁, 王裕东. 基于宏观经济优化模型的区域污染负荷分配. 应用基础与工程科学学报, 2003, 11(2): 133-142.
[19] 陈雯, 禚振砷, 赵海霞, 崔旭. 水环境约束分区与空间开发引导研究——以无锡市为例. 湖泊科学, 2008, 20(1): 129-134.
[20] 孙伟, 陈雯, 陈诚. 水环境协同约束分区与产业布局引导研究——以江苏省为例. 地理学报, 2010, 65(7): 819-827.
[21] 王洪铸, 宋春雷, 刘学勤, 李堃. 巢湖湖滨带概况及环湖岸线和水向湖滨带生态修复方案. 长江流域资源与环境, 2012, 21(S2): 62-68.
[22] 曹卫东, 曹玉红. 生态、经济协同发展的滨湖区空间管制分区研究——以巢湖东段为例. 长江流域资源与环境, 2012, 21(4): 426-432.
[23] 唐涛, 蔡庆华. 水生态功能分区研究中的基本问题. 生态学报, 2010, 30(22): 6255-6263.
[24] 刘星才, 徐宗学, 张淑荣, 徐华山. 流域环境要素空间尺度特征及其与水生态分区尺度的关系——以辽河流域为例. 生态学报, 2012, 32(11): 3613-3620.